

## 明 細 書

### X線管

### 技術分野

- [0001] この発明は、X線を出射するX線管に関し、特に、空気あるいはガス中にX線を照射してイオンガスを生成する除電装置等に適した構造を有するX線管に関するものである。

### 背景技術

- [0002] 帯電した被除電体をイオン化したガス流により除電する処理が従来から行われている。このような除電処理に利用されるイオンガスは、空気あるいはガス中にX線を照射することにより生成される。また、X線を出射するX線管においては、X線をX線管外に取り出すための透過窓に使用される透過窓材として、X線透過率に優れたベリリウムが採用されたX線管が知られており(特許文献1)、このようなX線管が除電装置等に組み込まれる。
- [0003] ベリリウム製の透過窓の取り付けは、該透過窓を金属リングで一旦補強し、この金属リングをガラス容器本体に取り付けることにより行われる(特許文献2)。なお、透過窓であるベリリウム板と金属リングの接着は、該ベリリウム板とろう材を介して金属リングに設置した状態で、これら部材を加熱処理することにより行われる(特許文献3)。

特許文献1:特許第2951477号

特許文献2:特開2000-306533号公報

特許文献3:特開2001-59900号公報

### 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0004] 発明者らは、従来のX線管について詳細に検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、従来のX線管では、透過窓材としてX線透過率に優れたベリリウムが採用されていた。このベリリウムは、特定化学物質に指定されている有害な物質である。したがって、使用環境への悪影響を低減すべく、ライフエンドにおける製品廃棄の際にも管球の回収義務が製造元に課せられていた。ただし、X線管の透過窓材と

してベリリウムの使用を止めれば対環境性に関する課題は解消するが、現実には、真空気密が維持可能な厚みでX線透過率に優れた材質として適切な材料は無く、仕方なくベリリウムを利用しなければならないという状況であった。

[0005] 従来のベリリウム透過窓は、特に1〜2keV程度の低いエネルギーのX線を選択的に効率よく取り出すことは難しく、より高いエネルギーのX線も放出されやすいので、除電装置等に使用された場合、人体への影響があり得るという課題があった。

[0006] 加えて、低エネルギーのX線を取り出そうとすると、透過窓の厚みを薄くする必要がある。この場合、透過窓が密閉容器の一部を構成するのに十分な強度を有していたとしても、ロウ材を介して密閉容器の一部(特許文献2における金属リング)に透過窓を接着した場合、ロウ材表面の凹凸の影響等により、該透過窓自体にクラックが生じ、透過窓として機能し得なくなる場合がある。また、クラックが発生しなくとも透過窓に歪みが生じていると、十分な耐久性が得られないという課題があった。

[0007] この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、有害なベリリウムを用いる必要がなく、かつ低エネルギーのX線が効率よく取り出せるとともに耐久性に優れた構造を備えたX線管を提供することを目的としている。

#### 課題を解決するための手段

[0008] この発明に係るX線管は、透過窓を介してX線を出射するX線管であって、特に空気あるいはガス中にX線を照射してイオンガスを生成する除電装置等に適した構造を備える。

[0009] 具体的に、この発明に係るX線管は、密閉容器と、電子源と、X線ターゲットと、 $3\mu\text{m}$ 〜 $30\mu\text{m}$ 、好ましくは $3\mu\text{m}$ 〜 $10\mu\text{m}$ の膜厚を有するシリコン箔を、少なくとも備える。上記密閉容器は、透過窓を規定するための開口を備える。上記電子源は、密閉容器内に配置されており、X線ターゲットに向けて電子を放出する。上記X線ターゲットは、電子源から放出された電子を受けてX線を発生する。

[0010] 特に、この発明に係るX線管において、上記シリコン箔は、密閉容器の開口を覆った状態で、該開口を規定する該密閉容器の一部に直接貼り付けられている。ここで、上記シリコン箔は、所望のエネルギーのX線を得るため、 $30\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有するが、このシリコン箔自体は非常にフレキシブルな材料である。

。そこで、この発明に係るX線管では、開口を規定する密閉容器の一部にシリコン箔を直接貼り付けることにより、該密閉容器の一部を該シリコン箔の補強部材として機能させる一方、該シリコン箔が密閉容器の一部として機能し、密閉容器の真真空気密を維持する。例えば、シリコン箔を従来のようにロウ材を介して密閉容器に接着した場合、ロウ材表面の凹凸の影響等により該シリコン箔自体にクラックが生じ、密閉容器の真真空気密が維持できず透過窓として機能し得ない場合がある。また、クラックが発生しなくともシリコン箔に歪みが生じていると、十分な耐久性が得られない。そこで、この第1実施例では、シリコン箔を密閉容器に直接貼り付けることにより(シリコン箔と密閉容器とが直接接触した状態)、シリコン箔の透過窓として機能する領域全体に均等な張力が与えられるよう、該密閉容器を補強部材として機能させる。これにより、当該X線管には十分な耐久性が与えられる。

[0011] なお、上記密閉容器の一部を構成する金属部分への上記シリコン箔の貼り付けは、該シリコン箔の外周部分と金属部分を一緒にロウ材で覆ってしまうのが好ましい。また、上記密閉容器の一部(面板部分)や該密閉容器の一部を構成するガラス面板へのシリコン箔の貼り付けは、陽極接合により行われるのが好ましい。

[0012] 陽極接合が行われる場合、この発明に係るX線管における密閉容器は、アルカリイオンが含有されるとともに透過窓を規定するための開口が設けられたガラス面板を含む。なお、このガラス面板は、密閉容器の本体全体がガラス材料で構成された場合、該ガラス本体の平坦部分であってもよい。上記シリコン箔は、ガラス面板の開口を覆った状態で、該ガラス面板に陽極接合により直接貼り付けられている。ここで、上記シリコン箔は、所望のエネルギーのX線を得るため、 $30\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有するが、このシリコン箔自体は非常にフレキシブルな材料である。そこで、この発明に係るX線管では、開口を規定するガラス面板にシリコン箔を直接貼り付けることにより、該ガラス面板を該シリコン箔の補強部材として機能させる一方、該シリコン箔が密閉容器の一部として機能し、密閉容器の真真空気密を維持する。例えば、このように薄いシリコン箔を従来のようにロウ材を介して密閉容器の一部に接着した場合、ロウ材表面の凹凸の影響等により該シリコン箔自体にクラックが生じ、密閉容器の真真空気密が維持できず透過窓として機能し得ない場合がある。また、クラックが

発生しなくともシリコン箔に歪みが生じていると、十分な耐久性が得られない。そこで、この発明では、密閉容器の一部にアルカリイオンが含有されたガラス面板を用意し、このガラス面板にシリコン箔を陽極接合により直接貼り付けることにより（シリコン箔とガラス面板とが直接接触した状態）、シリコン箔の透過窓として機能する領域全体に均等な張力が与えられるよう、該密閉容器を補強部材として機能させる。これにより、当該X線管には十分な耐久性が与えられる。

[0013] なお、最近の半導体技術の向上により、厚みが $3\mu\text{m}$ 〜 $10\mu\text{m}$ 程度の極薄シリコン箔が比較的安価に製造されるようになってきた。図1は、シリコンとベリリウムのX線透過特性を示すグラフであり、グラフG110は厚み $500\mu\text{m}$ のベリリウムのX線透過率、そして、グラフG120は厚み $10\mu\text{m}$ のシリコンのX線透過率をそれぞれ示している。この図から分かるように、シリコン箔の厚みを $10\mu\text{m}$ 前後まで薄くすれば、従来主に利用されてきた厚み $500\mu\text{m}$ ベリリウムとほぼ同程度のX線透過特性を得ることができる。一方、シリコンは厚み $3\mu\text{m}$ 以上あれば真空密閉容器の封止を兼ねたX線透過窓として使用可能であり（真空密閉容器の一部として現状では十分な強度が得られる）、この場合、そのX線透過率において厚み約 $200\mu\text{m}$ のベリリウムに相当する透過窓材となり得る。ここで注目すべき点は、シリコン箔の厚みを $30\mu\text{m}$ 以下に薄くした場合、シリコン元素固有のX線吸収特性（K吸収端）である $1.84\text{keV}$ 以下の極軟X線が効率よく出射されることである。これは、ベリリウムには無い特長であって、このようなシリコンが透過窓材として適用されたX線管が除電用途に利用された場合、特許文献1にも開示されているように出射されたX線はイオン発生率が非常に高く、加えて空気中に出射されてから $10\text{cm}$ 程度で空気に吸収されてしまうため、人体に対して安全性の高いX線が非常に効率良く取り出すことができる。

[0014] 陽極接合が行われる場合、シリコン箔が取り付けられるガラス面板の大きさが問題となる。特に、密閉容器の本体にガラス面板が取り付けられる構成では、ガラス面板取り付け時の加熱により該ガラス面板の外周部分が盛り上がってしまうことがある。このとき、シリコン箔の最大外径とガラス面板の最小外径とが近いと、シリコン箔がガラス面板の平坦な部分と盛り上がった外周部分とに跨るように貼り付けられ易いため、シリコン箔の中央領域に対して外周部分が押し上げられるような状況になり易い。その

ため、クラックが生じたり、接合が不均一になる可能性がある。そのため、ガラス面板の最小外径は、貼り付けられるシリコン箔の最大外径よりも十分に大きいことが好ましい。ただし、シリコン箔の最大外径とガラス面板の最小外径とが近い場合であっても、該ガラス面板を、開口を有する部分周辺の平坦部分から外周部分に向かってその断面形状をテーパ状に厚みが薄くなるよう加工してもよい。この場合、ガラス面板が加熱取り付けされても、外周部分の盛り上がり回避され、該ガラス面板に直接取り付けられるシリコン箔のクラックの発生や接合の不均一が解消される。

[0015] さらに、この発明に係るX線管は、透過型及び反射型のいずれの構造を備えてもよい。透過型X線管の場合、上記X線ターゲットは、当該X線管の小型化を可能にするため、密閉容器内に面するシリコン箔の面上に蒸着されるのが好ましい。

[0016] 上記シリコン箔は、厚みが $30\mu\text{m}$ 以下と非常に薄いので、上記ガラス面板に設けられた開口の面積が大き過ぎるとクラックが生じる可能性がある。そこで、このシリコン箔で覆う領域を予め個々の面積の小さな複数の区画に分割した構造にすることにより、実質的に大面積の透過窓を構成することができる。具体的には、上記密閉容器の開口は、透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造を備えてもよく、また、上記ガラス面板の開口は、それぞれが透過窓に相当する複数の貫通孔でもよい。

### 発明の効果

[0017] 以上のようにこの発明によれば、X線管の透過窓材として従来から利用されてきたベリリウムに換え、所定の厚みを有するシリコン箔を利用することにより、特定化学物質に指定されている有害なベリリウムを利用することなく、かつ低エネルギーのX線を効率よく取り出すことができるX線管が得られる。また、シリコン箔を利用することにより従来よりも低価格のX線管が製造し得る。

[0018] さらに、シリコン箔は、ロウ材や陽極接合により直接接触した状態で該シリコン箔を支持する密閉容器の一部を構成する金属部分やガラス面板に直接貼り付けられるので、歪みやクラックの発生が効果的に抑制され、耐久性に優れた構造が得られる。

### 図面の簡単な説明

[0019] [図1]は、シリコンとベリリウムのX線透過率をそれぞれ示すグラフである。

[図2]は、この発明に係るX線管の第1実施例として、透過型X線管の構成を示す組

立工程図である。

[図3]は、図2中のI-I線に沿った、第1実施例に係るX線管の断面構造を示す図である。

[図4]は、フランジの取り付け方法及びフランジ形状の他の例を説明するための図である。

[図5]は、透過窓を規定する容器開口の種々の構造を説明するための平面図である。

[図6]は、膜厚の異なる種々のシリコン箔のX線透過率を示す図である。

[図7]は、この発明に係るX線管の第2実施例として、反射型X線管の断面構造を示す図である。

[図8]は、密閉容器の一部にシリコン箔を直接接着する方法(ロウ付け)を説明するための図である。

[図9]は、この発明に係るX線管の第3実施例として、透過型X線管の構成を示す組立工程図である。

[図10]は、図9中のII-II線に沿った、第3実施例に係るX線管の断面構造を示す図である。

[図11]は、透過窓を規定するガラス面板開口の他の構造を説明するための平面図である。

[図12]は、ガラス面板の構造を説明するための図である(その1)。

[図13]は、ガラス面板の構造を説明するための図である(その2)。

[図14]は、この発明に係るX線管の第4実施例として、透過型X線管の構造を示す組立工程図である。

[図15]は、図14中のIII-III線に沿った、第4実施例に係るX線管の断面構造を示す図である。

[図16]は、この発明に係るX線管の第5実施例として、反射型X線管の断面構造を示す図である。

[図17]は、密閉容器の一部(アルカリイオンを含有するガラス板)にシリコン箔を接着する方法(陽極接合)を説明するための図である。

[図18]は、透過窓材として、ベリリウムとシリコンが適用されたX線管により得られたX線スペクトルである。

### 符号の説明

[0020] 100、300、400…透過型X線管、101、201、301、401、501…容器本体、110、210、310、410、510…電子源、111、211、311、411、511…集束電極、330、530…ガラス面板、140、240、340、440、540…シリコン箔、141、241、341、441、541…X線ターゲット、200、500…反射型X線管、270、570…X線ターゲット支持体。

### 発明を実施するための最良の形態

[0021] 以下、この発明に係るX線管の各実施例を、図2～図18を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一符号を付して重複する説明を省略する。また、以下の説明では、先に説明した図1も随時引用する。

[0022] (第1実施例)

まず、この発明に係るX線管における第1実施例について説明する。図2は、この発明に係るX線管における第1実施例として、透過型X線管の構成を示す組立工程図である。また、図3は、図2中のI-I線に沿った第1実施例に係る透過型X線管100の断面構造を示す図である。

[0023] この第1実施例に係るX線管100は、開口102を有する容器本体(ガラス容器)101と、該開口102に取り付けられる金属フランジ120を備える。この金属フランジ120の窪み中央には、透過窓を規定するための開口121が設けられるとともに、該金属フランジ120の窪み周辺には金属リング130がはめ込まれている。さらに、金属フランジ120の窪みには、軸AXに沿って該金属フランジ120に近接する順に、シリコン箔140、ロウ材150(厚み100 $\mu$ m程度)、押さえ電極160(厚み100 $\mu$ m程度)が配置されている。なお、ロウ材150と押さえ電極160には、透過窓となるシリコン箔140の一部を露出させるための開口151、161がそれぞれ設けられている。

[0024] この第1実施例において、シリコン箔140は該開口121を塞ぐように該金属フランジ120にロウ付けにより直接接触した状態で貼り付けられており、上記容器本体101、上記金属フランジ120及び上記シリコン箔140により真空密閉容器が構成されてい

る。

[0025] 上記容器本体101には、上記容器本体101、上記金属フランジ120及び上記シリコン箔140により構成された密閉容器を真空引きして、真空密閉容器にするための真空配管104が設けられており、当該容器本体101内には、電子源110、集束電極111、ガス吸着材112が配置されている。また、容器本体101の底部103には、これら部材に所定電圧を印加させるとともに、該容器本体101内の所定位置に保持するため、該底部103を貫通したステムピン113が配置されている。

[0026] なお、金属フランジ120に貼り付けられたシリコン箔140の、真空密閉容器内に面する側の面、より詳しくは、シリコン箔140の、開口121を実質的に覆っている部分の真空容器内に面する側の面には、X線ターゲット141が蒸着されている。よって、金属フランジ120、シリコン箔140、X線ターゲット141は同電位となる。例えば、この第1実施例に係るX線管が、X線ターゲット141側をGND電位にして使用される場合、金属フランジ120又はシリコン箔140は導電性部材を介して接地されればよい。また、電子源110は、従来のフィラメント等の熱陰極型電子源に限らず、当該X線管自体を小型化する場合にはカーボンナノチューブ電子源等の冷陰極型電子源も適用可能である。

[0027] なお、この第1実施例では、中央が窪んだ金属フランジ120が適用されており、その窪みが容器本体101に収納された状態で、シリコン箔140が予め取り付けられた該金属フランジ120が該容器本体101に取り付けられている。しかしながら、この金属フランジの取り付け方法は、この第1実施例には限定されず種々の方法が可能である。例えば、図4中に示された(a)のように、中央の窪みに開口121aが設けられた金属フランジ120aは、該窪みが容器本体101から突出するように該容器本体101に取り付けられてもよい。また、金属フランジは、上述の第1実施例における金属フランジ120のように、中央が窪んだ形状である必要はない。例えば、図4中に示された(b)のように、中央に開口121bが設けられたディスク形状の金属フランジ120bであってもよい。

[0028] また、図4中に示された(c)のように、金属フランジ120と容器本体101を接合するにあたって、開口102に別の金属フランジ125を接合した上で、金属フランジ120の



外周部分と別の金属フランジ125の外周部分とを溶接接合してもよい。通常、金属フランジ120を直接容器本体101に接合する場合、金属フランジ120を加熱するが、この際、該金属フランジ120に取り付けられているシリコン箔140やロウ材150などの透過窓構成部材に熱の影響(シリコン箔140の酸化や熱膨張率の違いによる破損、ロウ材150の溶解等)が及ぶ場合がある。

[0029] 一方、金属フランジ120、125のそれぞれの外周部分同士を接合させた場合、接合に伴う熱の影響がシリコン箔140やロウ材150などに及びにくい。また、接合の際には金属フランジ120の接合部分以外、特に透過窓部分を金属ブロック等で冷却することによって、熱の影響をさらに軽減することができる。

[0030] この第1実施例に係る透過型X線管100に適用されるシリコン箔140は、 $30\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下の厚みを有する。このように、シリコン箔140は、非常に薄いので、密閉容器に設けられた開口(第1実施例では、金属フランジ120の開口121に相当)の面積が大き過ぎるとクラックが生じてしまう可能性がある。具体的には、直径10mm以上の大面積の透過窓を一枚のシリコン箔で気密封止させる場合には、密閉容器内外での差圧により該シリコン箔が曲がり、クラックが入ってしまうおそれがある。これは、シリコン箔自体の強度不足によるものである。そこで、金属フランジ120の開口121は、図5に示されたように、透過窓を複数の区画に予め分割させる構造であるのが好ましい。例えば、図5中に示された(a)のように、金属フランジ120の開口121は、透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造であってもよい。また、図5中に示された(b)のように、それぞれが透過窓に相当する複数の貫通孔で構成してもよい。

[0031] 例えば、開口121の内部に2mmピッチの窓材支持台をメッシュ状に取り付ければ大面積のシリコン箔140が利用できる。除電用途などに対しては、このような構造でも全く問題が無いためシリコン箔の大面積化(X線透過窓の大面積化)が可能である。

[0032] 次に、厚みの異なるシリコン箔の各X線透過特性を図6に示す。この図6において、グラフG510は厚み $3\mu\text{m}$ のシリコン箔のX線透過率、グラフG520は厚み $10\mu\text{m}$ のシリコン箔のX線透過率、グラフG530は厚み $20\mu\text{m}$ のシリコン箔のX線透過率、そして、グラフG540は厚み $30\mu\text{m}$ のシリコン箔のX線透過率をそれぞれ示している。

- [0033] この図6及び先に説明した図1から分かるように、従来の透過窓材として利用される厚み $500\mu\text{m}$ のベリリウムに相当するX線透過率を得るためには、シリコン箔の厚みは、約 $8\mu\text{m}$ である。シリコン箔の厚みは $3\mu\text{m}$ 以上あれば真空密閉容器の封止を兼ねた透過窓材として使用可能であり、その場合のX線透過率は厚み約 $200\mu\text{m}$ のベリリウムに相当する。なお、シリコン箔のX線透過率は、ベリリウムとは異なり、 $0.5\text{keV}$ から $1.84\text{keV}$ の間に特徴的なピークを有する。この領域のX線は非常に空気に吸収されやすいため、イオンを大量に発生しながらすぐに減衰してしまうためX線の到達距離も短く、人体に対する安全性も高い利点がある。これは、ベリリウムには無い特徴であって、当該X線管(透過窓材としてシリコン箔を利用したX線管)を除電用途に用いた場合、上記特許文献1にも記載されたような効果を高効率で達成することが可能になる。
- [0034] また、透過窓材としてシリコン箔を管電圧数十 $\text{kV}$ 以上のX線管に適用する場合には、該シリコン箔によるX線エネルギーの減衰はほとんどベリリウムと変わらなくなるため、該ベリリウムに換わる透過窓材として全く問題なく適用可能である。
- [0035] また、通常を除電用軟X線管における透過窓材として、管電圧 $10\text{kV}$ 程度のX線管にこのシリコン箔が適用されると、従来は放出されなかった $1.84\text{keV}$ 以下の軟X線までも出力されるため、このように透過窓材を取り替えるだけで特にX線管透過窓近傍においての発生イオン量が増大し、除電効果を著しく向上させることができる。
- [0036] 特に、管電圧を $4\sim 6\text{kV}$ 程度まで下げて動作させる場合、シリコン箔自体のX線吸収端特性がX線フィルタの役割を果たすため、白色成分のほとんど無い単色X線を容易に得ることができる。このとき、X線ターゲット141の材質としては、タングステン(M線:約 $1.8\text{keV}$ )やアルミニウム(K線:約 $1.49\text{keV}$ )等が適しており、シリコン箔自体(K線:約 $1.74\text{keV}$ )をX線ターゲットとして動作させても単色X線を容易に得ることができる。
- [0037] なお、このX線ターゲット141の材質は上記に限られることは無く、 $1.84\text{keV}$ 以下の特性X線を発生するX線ターゲットであれば使用可能である。また、シリコン箔の厚みは $30\mu\text{m}$ 以下の厚みであれば $1.8\text{keV}$ 付近のX線は10%以上が透過するため、実用可能である。

[0038] (第2実施例)

次に、この発明に係るX線管における第2実施例について説明する。図7は、この発明に係るX線管の第2実施形態として、反射型X線管200の構成を示す図である。

[0039] この第2実施例に係るX線管200は、開口202を備えた容器本体201を備える。この容器本体201の開口202には、透過窓を規定するための開口221を有する金属フランジ220が取り付けられており、該金属フランジ220には、開口221を塞ぐようにシリコン箔240がロウ付けにより直接接触した状態で貼り付けられている。なお、金属フランジ220、金属リング230、ロウ材250、押さえ電極260を使用したシリコン箔240による透過窓封止の詳細は、上述の第1実施例における金属フランジ120、金属リング130、ロウ材150、押さえ電極160を使用したシリコン箔140による透過窓封止と同一であり、重複する説明は省略する。また、この第2実施例に係るX線管は、反射型X線管であるので、X線ターゲット241はX線ターゲット支持体270に固定されている。なお、この第2実施例においても、金属フランジ220と容器本体201との接合において、第1実施例における図4と同様の構造を備えてもよい。

[0040] また、容器本体201内には、ステムピン213を介して所定位置に保持された電子源210、集束電極211が設けられている。

[0041] ところで、上述の第1実施例のように、透過窓材であるシリコン箔140にX線ターゲット141が蒸着された場合には、該X線ターゲットの発熱が問題となる場合があり得る。従来から利用されてきたベリリウムに比べシリコンの熱伝導率は多少落ちるため、ターゲットライフの劣化が予想され得るからである。しかしながら、この第2実施形態に係る反射型X線管200の場合、X線ターゲット241は、X線ターゲット支持体270に固定され、シリコン箔240とは非接触であるので、透過窓材としてシリコン箔が適用されることによるターゲットライフへの影響はない。

[0042] 上述のように、第1及び第2実施例に係るX線管100、200において、透過窓材であるシリコン箔は、密閉容器の一部に直接接触した状態で該密閉容器に貼り付けられる。このようにシリコン箔を密閉容器に直接貼り付けるのは、より均一な張力をシリコン箔全体に生じさせるためである。すなわち、これら密閉容器とシリコン箔の間にロウ材などが介在すると、ロウ材表面の凹凸等により非常に薄いシリコン箔に歪みが生じ

たり、さらにはクラックが生じる可能性があるためである。

[0043] 以下、上述の第1及び第2実施例に適用された、金属フランジとシリコン箔とのロウ付けについて説明する。

[0044] (ロウ付け)

まず、図8は、金属材料にシリコン箔を貼り付けるロウ付けを説明するための図であり、具体的な構成として、図2に示された第1実施例において、2mm  $\phi$  の開口121を有する金属フランジ120に厚み10  $\mu$  mのシリコン箔140を貼り付けるロウ付けについて説明する。

[0045] ロウ材150としては品番・TB-629(化学成分:Ag61.5、Cu24、In14.5、熔融温度620〜710℃、板厚0.1mm)を、金属フランジ120及び押さえ電極160としてはステンレスSUS304(板厚0.1mm)を用意した。

[0046] まず、各材料を所定の大きさにカットする。この際の寸法の制限としてシリコン箔140は、金属フランジ120の開口121より大きく、金属フランジ120の外縁よりも小さい必要がある。また、ロウ材150の開口151は、シリコン箔140よりも小さい一方、ロウ材150の外縁(大きさを規定するエッジ部分)は、ロウ材150が溶融した際に、少なくとも該ロウ材150の一部がシリコン箔140の外周部分(エッジを含む周辺部分)を囲む、金属フランジ120の部分まで達して、シリコン箔140による封止を可能にする大きさである必要がある。よって、ロウ材150の外縁はシリコン箔140の外縁よりも大きくするのが好ましい。ロウ材150と押さえ電極160は同じ外径でよい。なお、具体的な寸法として、金属フランジ120の開口121は2mm  $\phi$  である。シリコン箔140の厚みは10  $\mu$  mでその形状は6mm角である。ロウ材150及び押さえ電極160は、それぞれ外径13mm  $\phi$ 、内径4mm  $\phi$  のリング形状である。この際、シリコン箔140の形状は、上記条件(金属フランジ120における開口121より大きく、金属フランジ120の外縁よりも小さい)を満たせばその形状は任意でよい。

[0047] 次に、金属フランジ120の開口121の角に、開口121形成時のバリがある場合には、各種機械研磨や電解研磨処理により完全に取り除く必要がある。また、特にシリコン箔140がある側の開口121の角において、さらにその角を曲面加工してエッジを落とすと、シリコン箔140がより破損しにくくなるので好ましい。その後、金属フランジ12

0及び押さえ電極160を真空中において880℃で加熱し、ガス出し及び歪取りが行われる。その後、ロウ材150が接触する部分(金属フランジ120、シリコン箔140、押さえ電極160)に例えば厚み200nmの銅を真空蒸着するのが好ましい。これによりロウ材150が各材料に良くなじむようになる。また、銅に限らず、ニッケルやチタンが薄く真空蒸着された場合においても同じ効果が得られる。

[0048] 続いて、これらの部材を作業台上にセットする。セットする順番は下面から、金属フランジ120、シリコン箔140、ロウ材150、押さえ電極160の順で、さらに、該押さえ電極160の上に加熱時の位置ずれ防止用治具170(材質:SUS304、外径12mm×内径6mm×高さ20mm)をセットする(図8)。この際、中心ずれ(図2中の軸AXからのずれ)が起きないように注意する必要がある、必要に応じてシリコン箔140及びロウ材150を挟み込むように、ロウ材150を介して、押さえ電極160と金属フランジ120とを周辺部で軽くスポット溶接してもその後のロウ付けは問題ない。または、中心合わせ用の金属リング130(材質SUS304)を押さえ電極160及びロウ材150を囲むようにセットしてもよい。

[0049] その後、真空加熱炉においてロウ材150を溶かすための加熱処理が行われる。このロウ付け条件は、(1)90分間かけて室温から680℃まで加熱、(2)その温度を5分間保持し、(3)加熱を止めることにより2分間で560℃まで冷却、そして、(4)金属フランジ120を電気炉の外に出し2時間かけて300℃まで冷却する。その後、真空加熱炉内部を乾燥窒素で真空リークすることにより急冷し室温付近まで冷却して取り出す。最後に、ヘリウムリークディテクタで真空リークのチェックを行い、リークが無いことを確認し作業を終了する。

[0050] (第3実施例)

続いて、この発明に係るX線管における第3実施例について説明する。図9は、この発明に係るX線管における第3実施例として、透過型X線管の構成を示す組立工程図である。また、図10中に示された(a)は、図9中のII-II線に沿った第3実施例に係る透過型X線管300の断面構造を示す図である。

[0051] この第3実施例に係るX線管300は、開口302を有する容器本体(ガラス容器)301と、該開口302に取り付けられる金属フランジ320を備える。この金属フランジ320の

窪み中央には、開口321が設けられるとともに、該金属フランジ320の窪みにはアルカリイオンが含有されたガラス面板330がはめ込まれている。ガラス面板330には透過窓を規定するための開口331が設けられており、この開口331を覆った状態でシリコン箔340が該ガラス面板330に直接貼り付けられている。なお、上記金属フランジ320、ガラス面板330及びシリコン箔340は、容器本体301の中心軸AXに沿って順に、該容器本体301の開口302に取り付けられている。

[0052] 特に、この第3実施例において、シリコン箔340は該開口331を塞ぐようにアルカリ含有ガラス面板330に陽極接合により直接接触した状態で貼り付けられており、上記容器本体301、上記金属フランジ320、ガラス面板330及び上記シリコン箔340により真空密閉容器が構成されている。

[0053] 上記容器本体301には、容器本体301、金属フランジ320、ガラス面板330及びシリコン箔340により構成された密閉容器を、真空引きして真空密閉容器にするための真空配管304が設けられており、当該容器本体301内には、電子源310、集束電極311、ガス吸着材312が配置されている。また、容器本体301の底部303には、これら部材に所定電圧を印加させるとともに、該容器本体301内の所定位置に保持するため、該底部303を貫通したステムピン313が配置されている。開口331周辺に位置する、ガラス面板330の真空密閉容器側の面には、電子ビームが直接に該真空密閉容器側の面へ当たることによる真空密閉容器内の帯電による動作の不安定化防止のため、例えばアルミニウムやクロムなどの保護電極332が金属フランジ320に接するように蒸着されている。そのため、この保護電極332は金属フランジ320と同電位である。なお、この保護電極332は、蒸着による形成の方が容易ではあるが、蒸着の場合は膜厚が薄いために導通不良となることがあり、確実に金属フランジ320と同電位にするためには、例えばステンレス等の金属板であると好ましい。また、ガラス面板を有さず、密閉容器の一部が金属フランジで構成された第1実施例等では、該金属フランジ自体が上記保護電極と同様に機能し得るため、この第3実施例のような保護電極は不要である。

[0054] なお、この第3実施例においても、金属フランジ320と容器本体301との接合において、第1実施例における図4と同様の構造を備えてもよいが、特に、保護電極を必

要としない構造として、この第3実施例は、図10中に示された(b)の構造を備えてもよい。この(b)の構造は、金属フランジ320と容器本体301との間に別の金属フランジ325が設けられた点で、(a)の構造と異なるが、その他の構造は(a)と同様である。すなわち、第3実施例では、図10中に示された(b)のように、容器本体301の開口302にも別の金属フランジ325を設け、該別の金属フランジ325の開口327を規定する容器内突出端326が、開口331周辺に位置する、ガラス面板330の真空密閉容器側の面を覆うことによって、(a)における保護電極332を設けることなく同様の作用が得られる。

[0055] なお、ガラス面板330に貼り付けられたシリコン箔340の、真空密閉容器内に面する側の面、より詳しくはシリコン箔340の、開口331を実質的に覆っている部分の真空密閉容器内に面する側の面には、X線ターゲット341が蒸着されている。この蒸着されたX線ターゲット341の一部が保護電極332と電氣的に接続されることによって、金属フランジ320、保護電極332、シリコン箔340、X線ターゲット341は同電位となる。ただし、真空密閉容器内に位置する側の開口331の角への蒸着がうまくいかない場合もあるので、金属フランジ320又は保護電極332と、シリコン箔340又はX線ターゲット341とを導電性部材を介して電氣的に接続してもよい。特に、図10中に示された(b)の構造においては好ましい。例えばこの第3実施例に係るX線管において、X線ターゲット341側をGND電位にして使用する場合には、金属フランジ320、保護電極332及びシリコン箔340のいずれかを導電性部材を介して接地させればよい。なお、X線ターゲット341と保護電極332が共通する材料からなる場合は、両者を蒸着により一緒に形成することも可能である。また、電子源310は、従来のフィラメント等の熱陰極型電子源に限らず、当該X線管自体を小型化する場合にはカーボンナノチューブ電子源等の冷陰極型電子源も適用可能である。

[0056] この第3実施例に係る透過型X線管300に適用されるシリコン箔340は、 $30\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下の厚みを有する。このように、シリコン箔340は、非常に薄いので、ガラス面板330に設けられた開口の面積が大き過ぎるとクラックが生じてしまう可能性がある。具体的には、直径10mm以上の大面積の透過窓を一枚のシリコン箔で気密封止させる場合には、密閉容器内外での差圧により該シリコン箔が曲がり、

クラックが入ってしまうおそれがある。これは、シリコン箔自体の強度不足によるものである。そこで、ガラス面板330の開口331は、図11に示されたように、透過窓を複数の区画に予め分割させる構造であるのが好ましい。図11中に示された(a)では、開口331として、それぞれが透過窓に相当する複数の貫通孔がガラス面板330に設けられている。なお、この開口331は、図11中に示された(b)のように、透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造であってもよい。

[0057] 例えば、開口331として直径5mm以下の貫通孔が複数設けられた場合、直径10mm以上の大面積のシリコン箔340が利用できる。除電用途などに対しては、このような構造でも全く問題が無いためシリコン箔の大面積化が可能である。また、陽極接合技術を用いて強固に接合されるため、強固な真空封止が可能になる。

[0058] なお、陽極接合が行われる場合、シリコン箔340が取り付けられるガラス面板330の大きさが問題となる。特に、容器本体301の金属フランジ320にガラス面板330が取り付けられる構成では、ガラス面板330取り付け時の加熱により該ガラス面板330の外周部分が盛り上がってしまう。このとき、シリコン箔340の最大外径とガラス面板330の最小外径とが近いと、シリコン箔340がガラス面板330の平坦部分と盛り上がった外周部分との跨るように貼り付けられ易いため、シリコン箔340の中央領域に対して外周部分が押し上げられるような状況になり易い。そのため、クラックが生じたり、接合が不均一になる可能性がある。すなわち、図12中に示された(a)のように、シリコン箔340が外周部分の盛り上がったガラス面板330に貼り付けられたときに、シリコン箔340の周辺部分がガラス面板330の盛り上がり部分Aにより局所的に曲げられ、陽極接合時にシリコン箔340自体が破損する可能性が高くなる。

[0059] そのため、ガラス面板330を、その外縁がシリコン箔340の外縁よりも十分に大きくしておくのが好ましい。具体的には、図12中の(b)のように、最小外径D1が、貼り付けられるシリコン箔340の最大外径D2よりも十分に大きいガラス面板330を用意する。この場合、ガラス面板330上にシリコン箔340の張り付け領域が十分に確保できるので、特にシリコン箔340の形状は円形には限定されず、多角形や曲線を含む形状であってもよい。

[0060] ただし、シリコン箔340の最大外径D2とガラス面板330の最小外径D1とが近い場



合であっても、例えば図12中に示された(c)のように、該ガラス面板330を、開口を有する部分周辺の平坦部分から外周部分に向かってその断面がテーパ状に厚みが薄くなるよう加工してもよい。この場合、ガラス面板330が加熱取り付けられても、外周部分の盛り上がり回避され、該ガラス面板330に直接取り付けられるシリコン箔340のクラックの発生や接合の不均一が解消される。

[0061] 具体的には、図13中に示された(a)のように、金属フランジ320とガラス面板330との間に間隙G1が形成されるような形状のガラス面板330が適用可能である。図13中に示された(a)の場合、ガラス面板330の一方の面のみが外周部分に向かって斜めカットされており、この構成により、領域B1においてガラス面板330が金属フランジ320に取り付けられる一方、領域C1においてシリコン箔340がガラス面板330に貼り付けられる。また、図13中に示された(b)のように、シリコン箔340とガラス面板330との間に間隙G2が形成されるような形状のガラス面板330も適用可能である。図13中に示された(b)の場合も、ガラス面板330の一方の面のみが外周部分に向かって斜めカットされている。この構成では、ガラス面板330の開口331周辺の領域C2だけシリコン箔340が接触しており、該シリコン箔340の外周部分はガラス面板330から間隙G2を介して離間している。一方、ガラス面板330と金属フランジ320とは領域B2において全面的に密着している。さらに、図13中に示された(c)のように、金属フランジ320とガラス面板330との間に間隙G1が形成されるとともにシリコン箔340とガラス面板330との間に間隙G2が形成されたような形状のガラス面板330も適用可能である。図13中に示された(c)の場合、ガラス面板340の両面が外周部分に向かって斜めカットされており、この構成により、領域B3においてガラス面板330が金属フランジ320に取り付けられる一方、領域C3においてシリコン箔340がガラス面板330に貼り付けられる。

[0062] (第4実施例)

次に、この発明に係るX線管における第4実施例について説明する。図14は、この発明に係るX線管の第4実施例として、透過型X線管400の構成を示す組立工程図である。また、図15は、図14中のIII-III線に沿った、第4実施例に係る透過型X線管400の断面構造を示す図である。

[0063] この第4実施例に係るX線管400において、密閉容器は、透過窓を規定するための開口402が設けられた平坦部分であるガラス面板を含む容器本体(アルカリ含有ガラス容器)401と、該開口402を塞ぐようにガラス面板上の領域402aに貼り付けられたシリコン箔440と、軸AXに沿って容器本体401に取り付けられるガラスステム403によって構成される。シリコン箔440は、容器本体401の一部であるアルカリ含有ガラス面板上の領域402aに、陽極接合により直接接触した状態で貼り付けられる。また、ガラスステム403には、容器本体401とシリコン箔440とガラスステム403により構成された密閉容器を、真空引きして真空密閉容器にするための真空配管404が設けられており、容器本体401内に収納されるよう、電子源410、集束電極411及びガス吸着材412がステムピン413を介して取り付けられている。開口402周辺に位置する、容器本体401のガラス面板の真空密閉容器側の面には電子ビームが直接に該真空密閉容器側の面へ当たることによる真空密閉容器内の帯電による動作の不安定防止のため、例えばステンレスなどの金属板からなる保護電極414が設置されている。この保護電極414は透過窓となるシリコン箔440と同電位である。

[0064] なお、この第4実施例においても、容器本体401のガラス面板に直接接触した状態で貼り付けられたシリコン箔440の、真空密閉容器内に面する側の面、より詳しくはシリコン箔440の、開口402を実質的に覆っている部分の真空密閉容器内に面する側の面には、X線ターゲット441が蒸着されている。この蒸着されたX線ターゲット441の一部が保護電極414と電氣的に接続されることによって、保護電極414、シリコン箔440、X線ターゲット441は同電位となる。ただし、真空密閉容器内に位置する側の開口402の角への蒸着がうまくいかない場合もあるので、保護電極414をシリコン箔440又はX線ターゲット441に導電性部材を介して電氣的に接続させてもよい。例えばこの第4実施例に係るX線管において、X線ターゲット441側をGND電位にして使用する場合には、保護電極414又はシリコン箔440を、導電性部材を介して接地させればよい。なお、X線ターゲット441と保護電極414が共通の材料からなる場合は、両者を蒸着により一緒に形成することも可能である。また、電子源410は、従来のフィラメント等の熱陰極型電子源に限らず、当該X線管自体を小型化する場合にはカーボンナノチューブ電子源等の冷陰極型電子源も適用可能である。

[0065] この第4実施例に係る透過型X線管200に適用されるシリコン箔440は、 $30\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下の厚みを有する。このように、シリコン箔440は、非常に薄いので、密閉容器に設けられた開口（第4実施例では、容器本体401の一部を構成するガラス面板の開口402に相当）の面積が大き過ぎるとクラックが生じてしまう可能性がある。そこで、この第4実施例でも、例えば図11に示されたように、容器本体401のガラス面板は、それぞれが透過窓に相当する複数の貫通孔を有してもよい。また、このガラス面板に、透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造が設けられてもよい。特に、陽極接合は、シリコン箔を固定する基板がアルカリを含有するガラスの場合に適用可能であるが、このメッシュ構造の透過窓を有するガラス面板にシリコン箔440を陽極接合すれば、該シリコン箔440自体がメッシュ状支持枠にも強固に接合されるため、より強い真空封止が可能になる。

[0066] 以上のように、この第4実施例でも、密閉容器やシリコン箔440の貼り付けは陽極接合により行われる。この場合、予め薄膜化されたシリコン箔440と容器本体401（ガラス面板となる平坦部分）とを直接接合する場合だけでなく、厚いシリコンをガラス面板部分に接合した後に化学エッチングや機械研磨などで薄膜化しても製作が可能である。例えば、安価な $200\sim 400\mu\text{m}$ 厚のシリコンウエハで陽極接合により封止した後に化学エッチングまたは機械研磨により $3\sim 10\mu\text{m}$ 厚にすれば良いため、さらに安価なX線管の製造及び供給が可能になる。なお、陽極接合の際に用いるガラス部材にはアルカリを多く含むホウケイ酸ガラス（コバールガラス）やパイレックス（登録商標）ガラスが一般的には多く使われる。

[0067] （第5実施例）

次に、この発明に係るX線管における第5実施例について説明する。図16は、この発明に係るX線管の第5実施例として、反射型X線管500の構成を示す図である。

[0068] この第5実施例に係るX線管500は、開口502を備えた容器本体501を備える。透過窓を規定するための開口531が設けられたガラス面板530が、例えば融着によって金属フランジ520に接合されており、この金属フランジ520がこの容器本体501の開口502に取り付けられている。ガラス面板530には、開口531を塞ぐようにシリコン箔540が陽極接合により直接接触した状態で貼り付けられている。また、この第5実

施例に係るX線管は、反射型X線管であるので、X線ターゲット541はX線ターゲット支持体570に固定されている。なお、ガラス面板530の、容器内に面した面には保護電極532が設置されている。なお、この第5実施例においても、金属フランジ520と容器本体501との接合において、第1実施例における図4と同様の構造を備えてもよい。

[0069] また、容器本体501内には、ステムピン513を介して所定位置に保持された電子源510、集束電極511が設けられている。

[0070] ところで、上述の第3及び第4実施例のように、透過窓材であるシリコン箔340、440にX線ターゲット341、441が蒸着された場合、該X線ターゲットの発熱が問題となる場合があり得る。従来から利用されてきたベリリウムに比べシリコンの熱伝導率は多少落ちるため、ターゲットライフの劣化が予想され得るからである。しかしながら、この第5実施例に係る反射型X線管500の場合、X線ターゲット541は、X線ターゲット支持体570に固定され、シリコン箔540とは非接触であるので、透過窓材としてシリコン箔が適用されることによるターゲットライフへの影響はない。

[0071] 上述のように、第3～第5実施例に係るX線管300～500において、透過窓材であるシリコン箔は、密閉容器の一部を構成するガラス面板に直接接触した状態で貼り付けられる。このようにシリコン箔をガラス面板に直接貼り付けるのは、より均一な張力をシリコン箔全体に生じさせるためである。すなわち、これら密閉容器とシリコン箔の間にロウ材などが介在すると、ロウ材表面の凹凸等により非常に薄いシリコン箔に歪みが生じたり、さらにはクラックが生じる可能性があるためである。

[0072] 以下、上述の第3～第5実施例に適用された、シリコン箔とガラス面板(アルカリ含有ガラス)との陽極接合について説明する。

[0073] (陽極接合)

図17は、アルカリ含有ガラスにシリコン箔を貼り付ける陽極接合を説明するための図であり、具体的な構成として、図14に示された第4実施例において、3mm φの開孔402を有するガラス容器本体401に厚み10 μmのシリコン箔440を貼り付ける陽極接合について説明する。

[0074] 密閉容器に真空気密性を持たせるため、シリコン箔440の厚みは真空封止が可能

な範囲の厚さが必要であるが、なるべく薄い方がX線透過率の点からは有利になる。厚みは3  $\mu$  m程度以上あれば真空密閉容器の封止を兼ねた透過窓材として使用可能であるが、この例では、扱いやすさを優先して厚み10  $\mu$  mのシリコン箔440を用意した。この例においては、シリコン箔440は機械研磨により厚みを10  $\mu$  mにした。これはエッチングにより作成したシリコン箔であっても使用に際して何ら支障はない。

[0075] また、この陽極接合に利用されるガラスは、ガラス中にアルカリイオンが含まれている必要がある。陽極接合は、ガラスを加熱しながら電圧を印加することにより、該ガラス内のアルカリイオンを移動させ接合する方式だからである。さらに、ガラスに要求される条件としては、シリコンと近い熱膨張係数を有するのが好ましい。熱膨張係数があまり異なると、接合はできても、接合後に冷却した際にシリコン箔が破れてしまうためである。これらの条件を満たすガラスとしては、パイレックスガラスやホウケイ酸ガラスがある。この例では、入手性、接合後の電子管への組みやすさ及び加工の容易さの点からホウケイ酸ガラスが利用されている。なお、ホウケイ酸ガラスの厚みは、真空管として真空気密が維持できればよいので、1mmとした。

[0076] まず、X線管の透過窓を有する面板となるガラス容器401の上部中心部402aに直径3mmの穴402を開ける。この開口402は超音波加工などにより容易に開けることができる。穴あけ加工後は、開口402周辺のバリや欠けを機械加工研磨により修正し、なるべく均一な円形状に表面処理する。その際、特にシリコン箔440がある側の開口402の角の部分の部分を曲面に加工すれば、より好ましい。その後、このガラス容器401の表面を脱脂洗浄する。続いて、シリコン箔440を7mm角程度にカットする。このシリコン箔440は、ガラス容器401における開口402より大きく、ガラス容器401の外縁よりも小さければよく、形状などに制限はない。

[0077] 次に、400℃程度まで加熱可能なホットプレート450を準備し、その上にグランド電位となる厚み1mmのアルミ板460をセットする。このアルミ板460の上に開口402を有するガラス容器401を置き、該開口402を覆うようにシリコン箔440をセットする。その上から金属製の重し470 (SUS304、直径7mm、高さ40mm) をセットする。この重し470には500V〜1000Vの電圧を印加するための線が取り付けられている。

[0078] 上述のように各部材をセットした後、ホットプレート450を400℃まで加熱する。その

結果、ホットプレート450上のグラウンド電位に設定されたアルミ板460、ガラス容器本体401及びシリコン箔440が350℃以上に加熱される。この加熱状態でシリコン箔440上に置かれた重し470に+500V程度の電圧を印加すると、シリコン箔440及びガラス容器本体401を介して重し470からアルミ板460に数mAの電流が流れる。この電流はすぐに減衰し、数分後には数十 $\mu$ A以下になるので、そこでこの陽極接合は終了する。陽極接合が終了すると、ホットプレート450をオフにし、すぐに室温まで急冷してもシリコン箔440にはクラック等は発生しない。なお、この例における加熱作業は大気中で行われているが、真空中で行われる方が、接合部における泡の発生が抑制されるため、真空リークの危険は減る。また、シリコン箔440とガラス容器本体401とは、ガラス容器本体401の内部側で接合してもよく、その場合、重し470に印加される電圧は逆に設定される(−500Vが印加される)。

- [0079] 最後に、ヘリウムリークディテクタで真空リークのチェックを行い、リークが無いことを確認する。そして、シリコン箔440内面にX線ターゲット441を真空蒸着し、電子源410、集束電極411、保護電極414と組み合わせてX線管内に組み込めば、シリコン箔を透過窓材としたX線管が得られる。
- [0080] なお、以上の陽極接合は、ロウ付けに起因した課題を解決する一方、該ロウ付けに比べ工程数を大きく低減することができるため、X線管の製造原価をより低減することを可能にする。
- [0081] 次に、透過窓材として厚み10 $\mu$ mのシリコン箔が適用されたX線管のX線スペクトルと、比較のため特別に用意された厚み10 $\mu$ mのベリリウムが適用されたX線管のX線スペクトルを図18に示す。なお、図18中の(a)では、X線ターゲットとして厚み800nmのアルミニウムが適用されており、シリコン箔及びベリリウムが適応された各X線管の動作電圧は4kVである。この図18中に示された(a)において、グラフG1010aは、ベリリウムが透過窓材として適用されたX線管のX線スペクトルであり、グラフG1020aはシリコン箔が透過窓材として適用されたX線管のX線スペクトルである。一方、図18中の(b)では、X線ターゲットとして厚み200nmのタングステンが適用されており、シリコン箔及びベリリウムが適応された各X線管の動作電圧は4kVである。この図18中に示された(b)において、グラフG1010bは、ベリリウムが透過窓材として適用された

X線管のX線スペクトルであり、グラフG1020bはシリコン箔が透過窓材として適用されたX線管のX線スペクトルである。

- [0082] 図18中の(a)及び(b)から分かるように、透過窓材としてシリコン箔が適用されたX線管は、該シリコンのX線透過特性がそのままX線フィルタの役割を果たすため、2keV〜4keVのX線が当該シリコン透過窓により吸収され、その出力スペクトルは1.5keV付近のみが抜き出された形になっている。つまり、従来のベリリウム透過窓に比べ、人体に影響の大きい不要な高エネルギーX線をカットし、イオンガス発生に適したX線を選択的に取り出すことができる。なお、この測定は、X線管の透過窓(出力窓)とX線検出器との間隔が10mmに設定した状態で行われたが、この距離を100mm以上にすると大気による吸収(イオン化)のためX線は減衰してしまい検出できなくなる。
- [0083] また、アルミニウムの特徴X線(1.48keV)も高効率で大気中に取り出すことが可能になるため、例えばアルミニウムやマグネシウムの特性X線で励起する蛍光X線分析装置に使用されていたX線管を封じ切りタイプにすることが可能になり、従来装置の小型化に貢献し得る。

#### 産業上の利用可能性

- [0084] この発明は、上述のように特定化学物質に指定されている有害なベリリウムに換え、シリコン箔を透過窓材に利用しているので、有害物質を使用することなく低エネルギーのX線を効率的に取り出せかつ低価格のX線管が得られる。また、このシリコン箔はロウ材等の接着材料を介さずに直接ガラス面板に貼り付けられるので、耐久性に優れた構造のX線管が得られる。このようなX線管は、軟X線管のみならず管電圧数十kV以上のX線管としても利用可能であり、除電装置など多くの電子機器に組み込み可能である。

## 請求の範囲

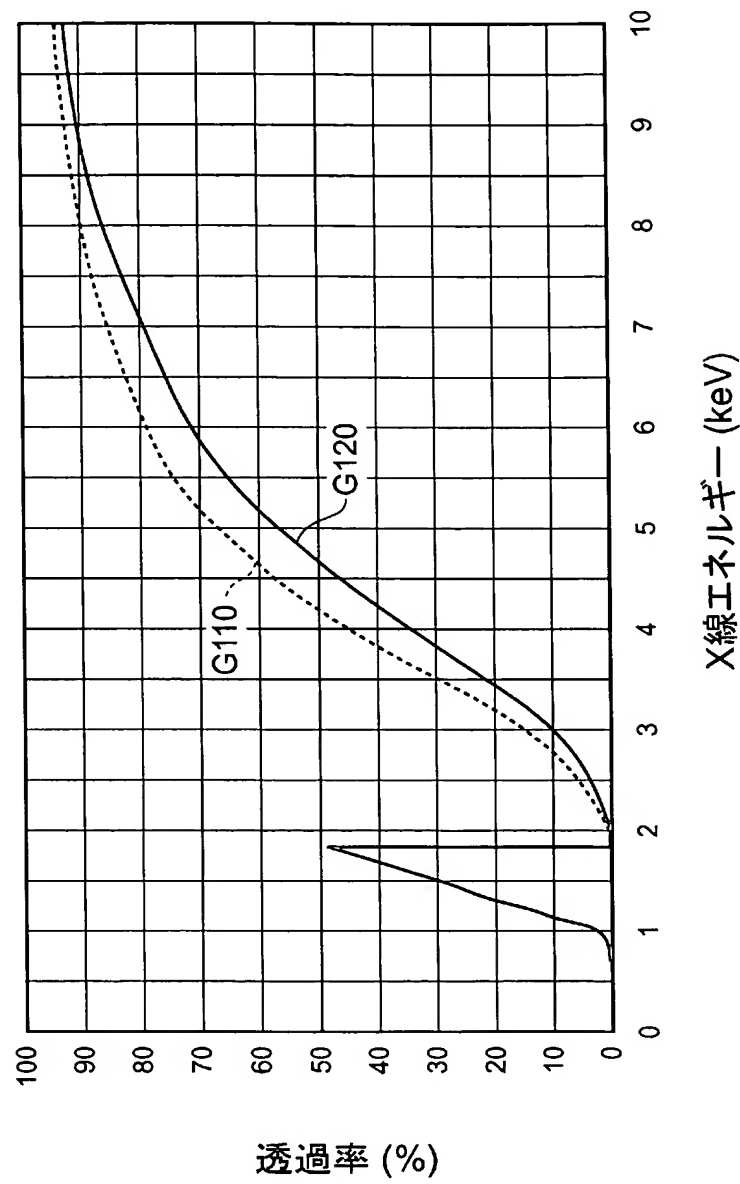
- [1] 透過窓を介してX線を出射するX線管であって、  
前記透過窓を規定するための開口が設けられた密閉容器と、  
前記密閉容器内に配置された、電子を放出するための電子源と、  
前記密閉容器内に配置された、前記電子源から放出された電子を受けてX線を発生するX線ターゲットと、  
前記透過窓を構成し、 $3\mu\text{m}$ 以上かつ $30\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有するシリコン箔を備えたX線管。
- [2] 請求項1記載のX線管において、  
前記シリコン箔は、前記密閉容器の開口を覆った状態で、該開口を規定する該密閉容器の一部に直接貼り付けられている。
- [3] 請求項1記載のX線管において、  
前記密閉容器は、アルカリイオンを含有するとともに前記透過窓を規定するための開口が設けられたガラス面板を有し、  
前記シリコン箔は、前記ガラス面板の開口を覆った状態で、該開口を規定する該ガラス面板に陽極接合により直接貼り付けられている。
- [4] 請求項3記載のX線管において、  
前記ガラス面板は、前記シリコン箔の最大外径よりも大きい最小外径を有する。
- [5] 請求項3記載のX線管において、  
前記ガラス面板は、前記透過窓を規定する内側部分の厚みよりも外周部分の厚みの方が薄い断面形状を有する。
- [6] 請求項1～3のいずれか一項記載のX線管において、  
前記シリコン箔は、 $3\mu\text{m}$ 以上かつ $10\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有する。
- [7] 請求項1～3のいずれか一項記載のX線管において、  
前記X線ターゲットは、前記密閉容器内に面する側の前記シリコン箔の面上に蒸着されている。
- [8] 請求項1～3のいずれか一項記載のX線管において、  
前記密閉容器の開口は、前記透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造を



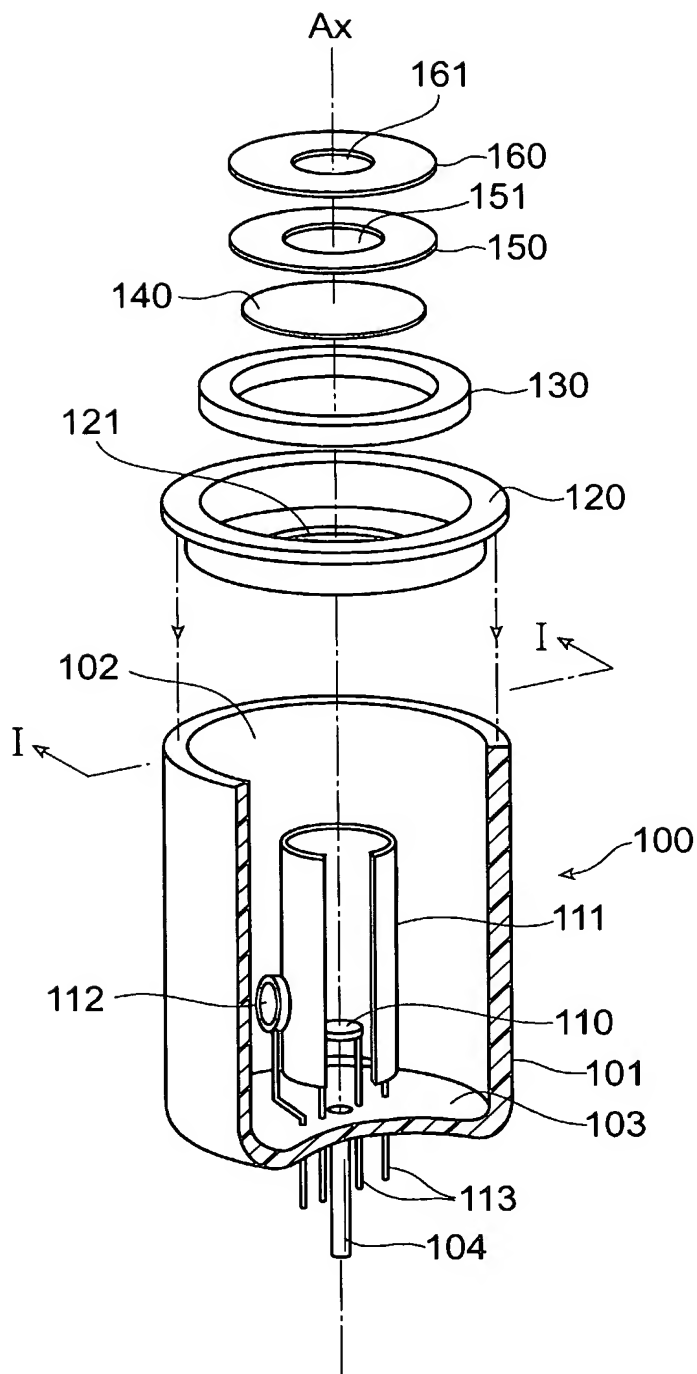
有する。

- [9] 請求項1〜3のいずれか一項記載のX線管において、  
前記密閉容器の開口は、それぞれが前記透過窓に相当する複数の貫通孔からなる。

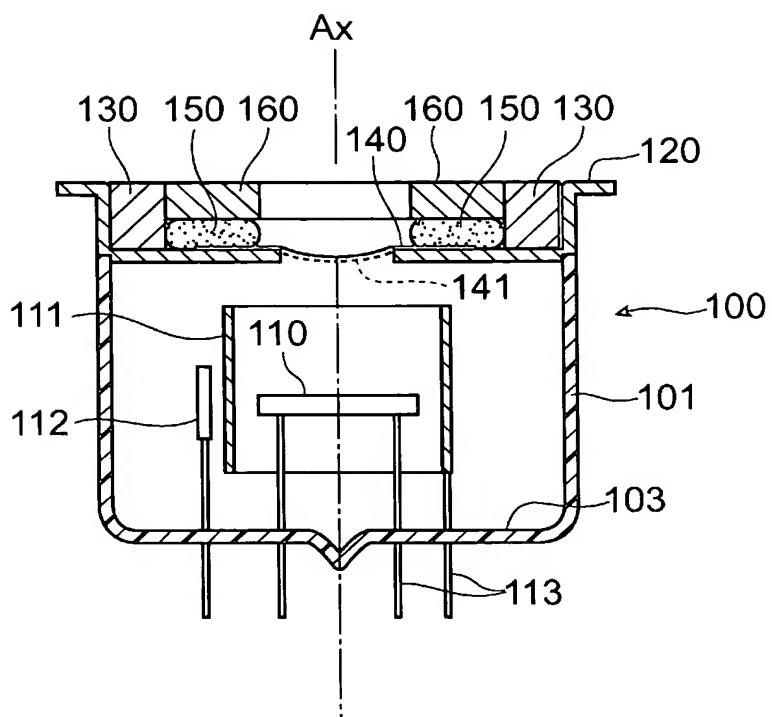
[図1]



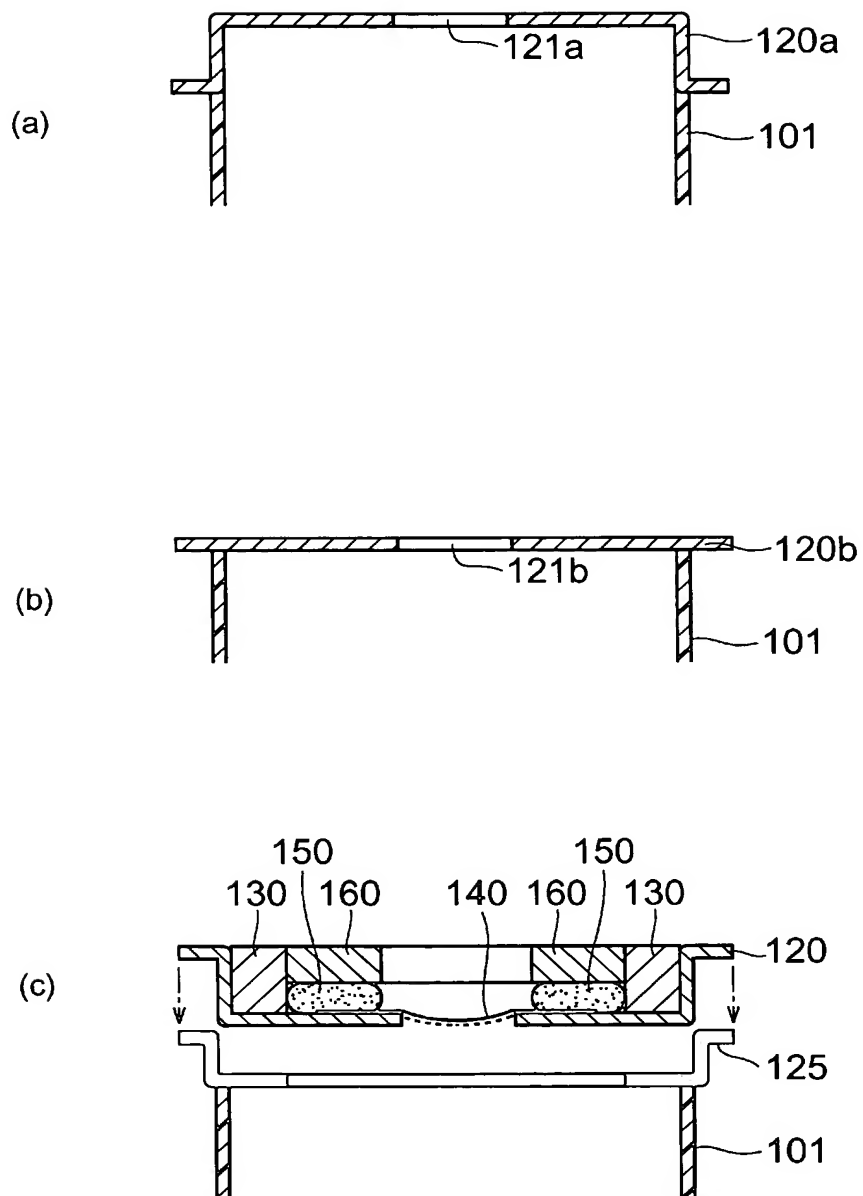
[[図2]]



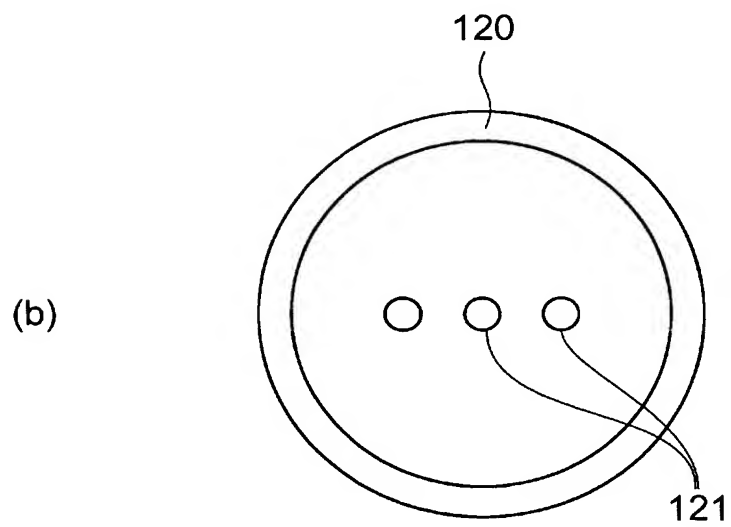
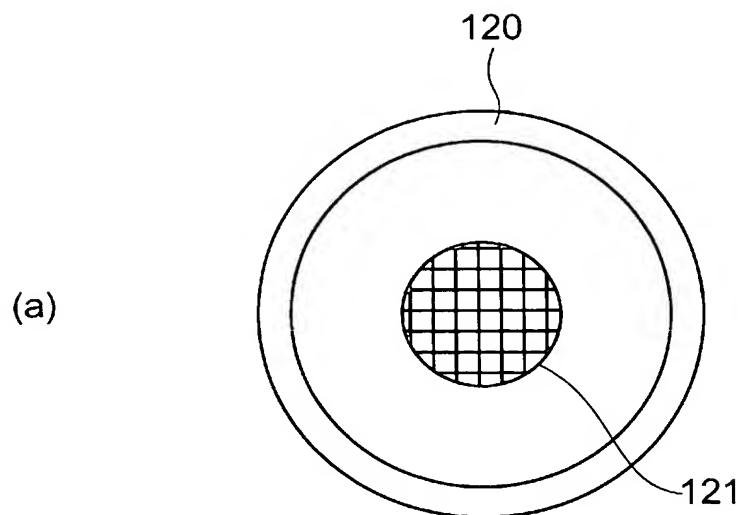
[図3]



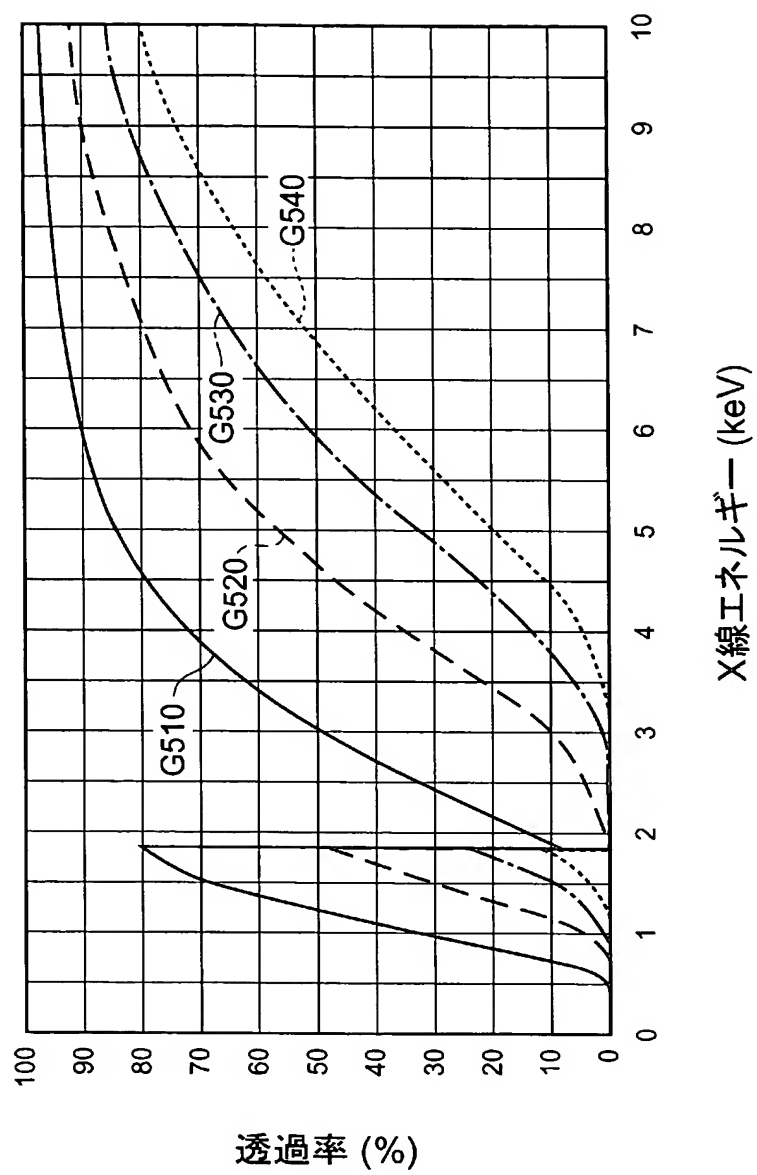
[図4]



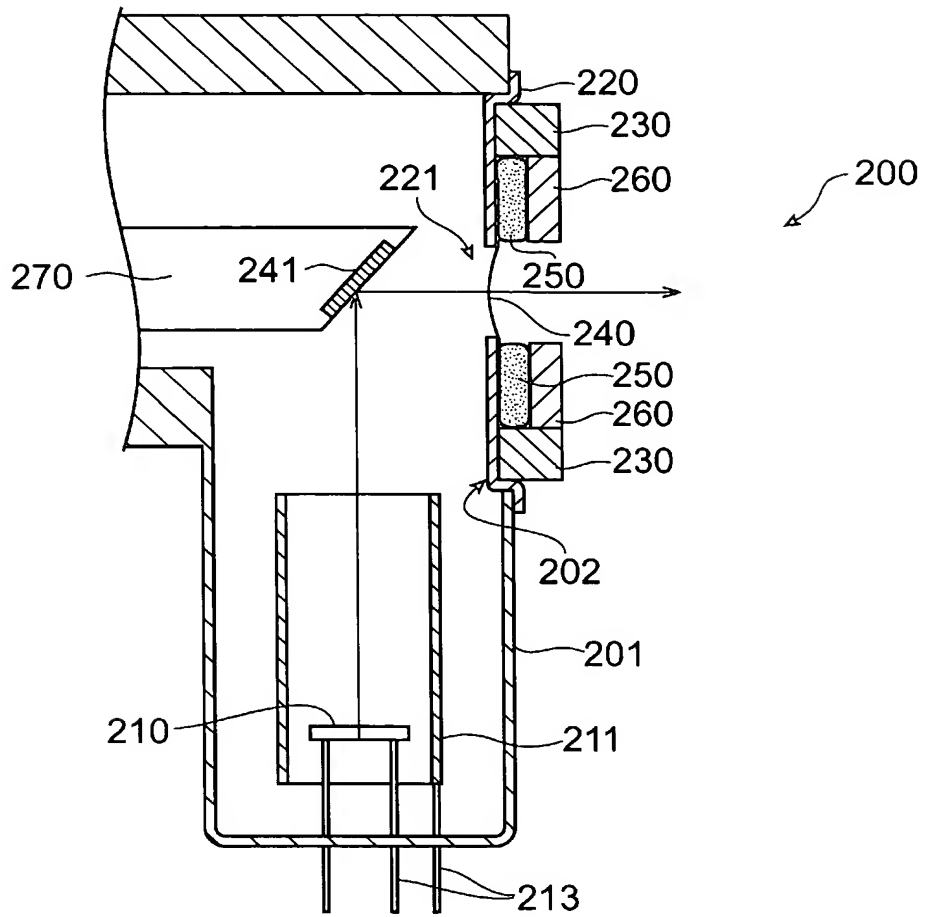
[図5]



[図6]

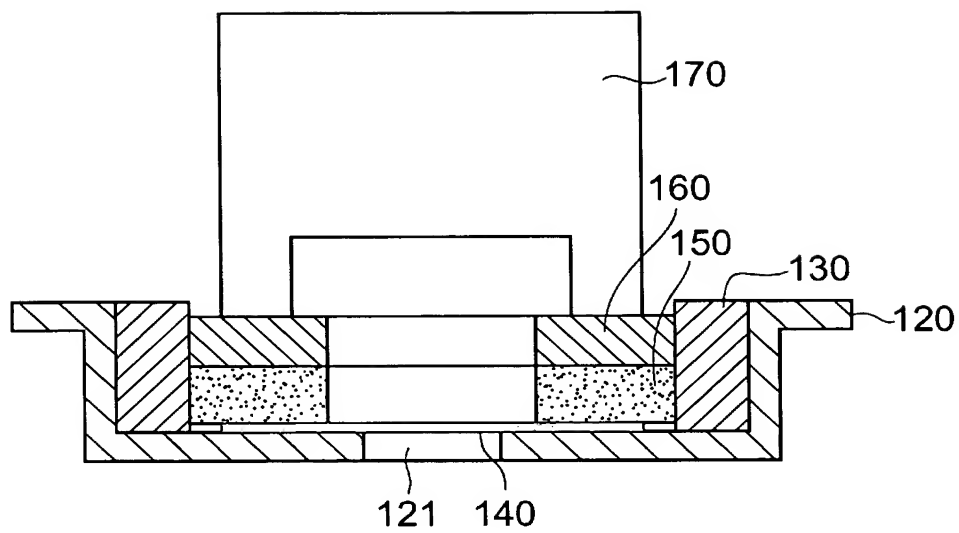


[図7]

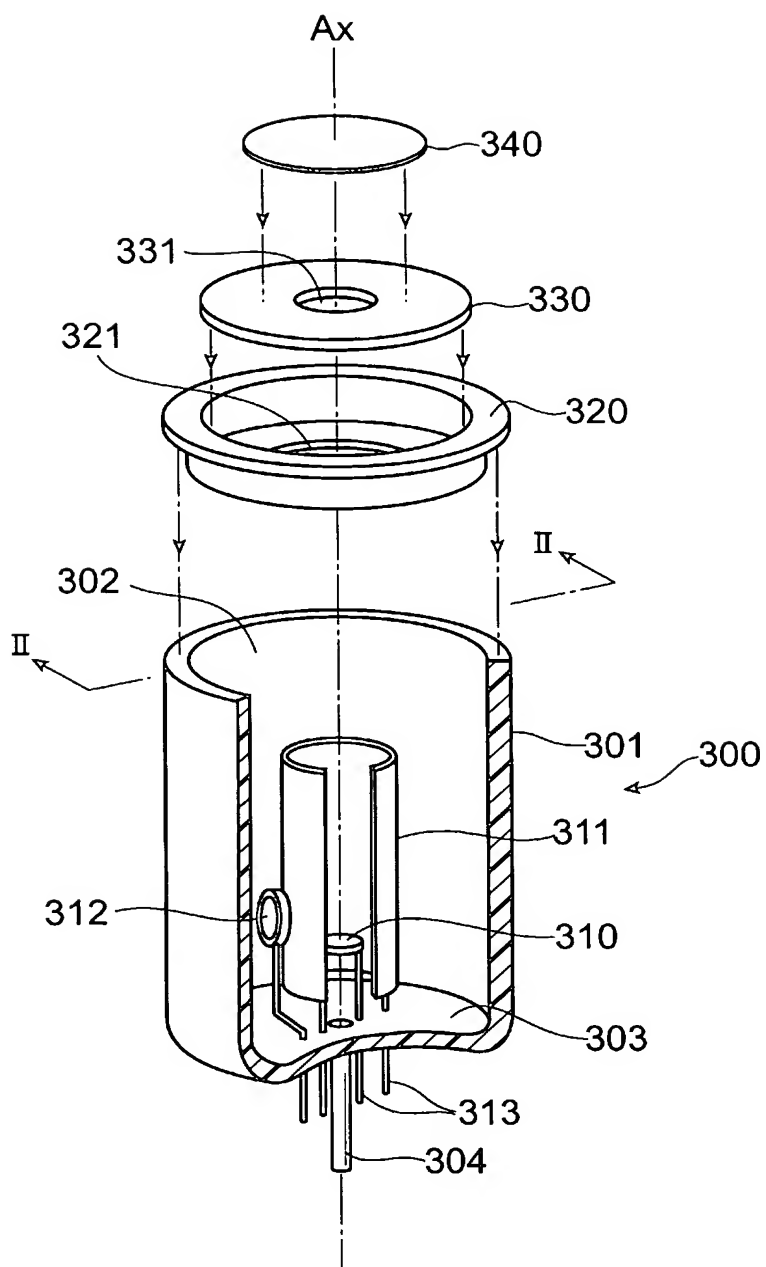




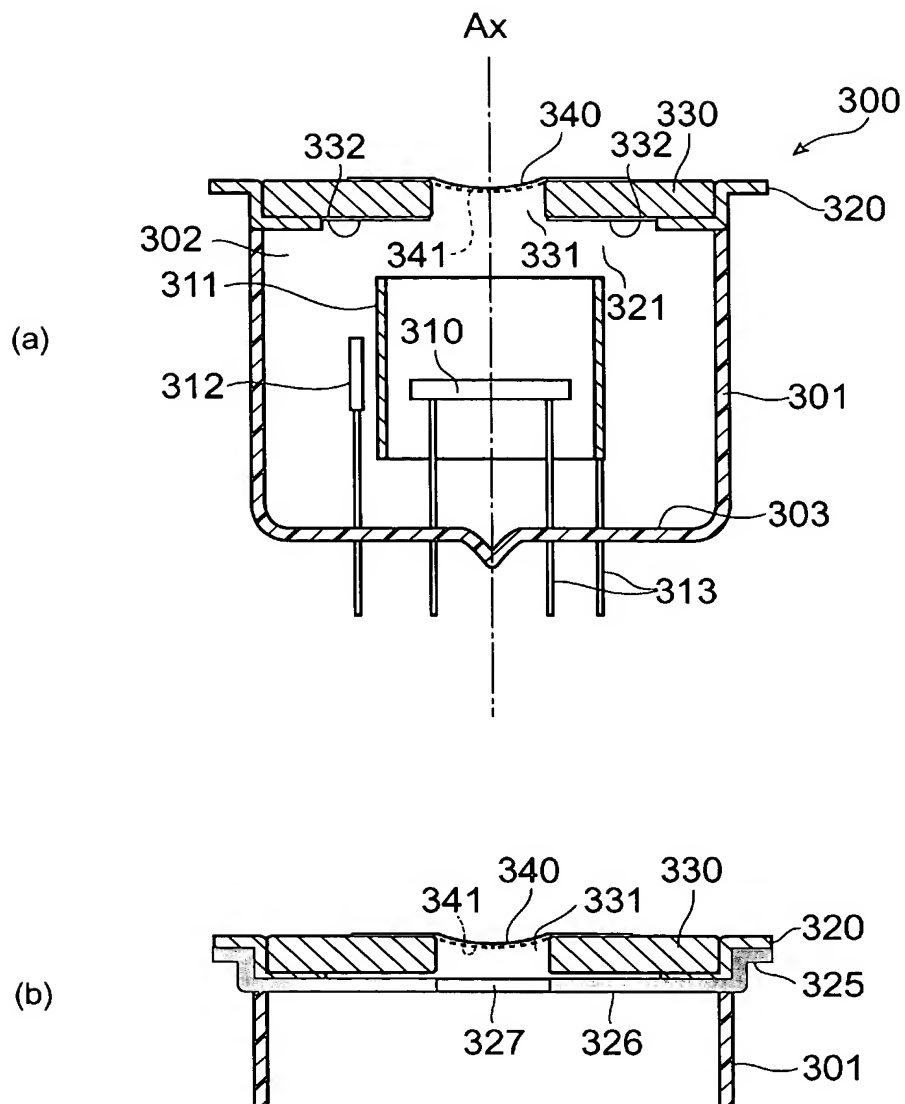
[図8]



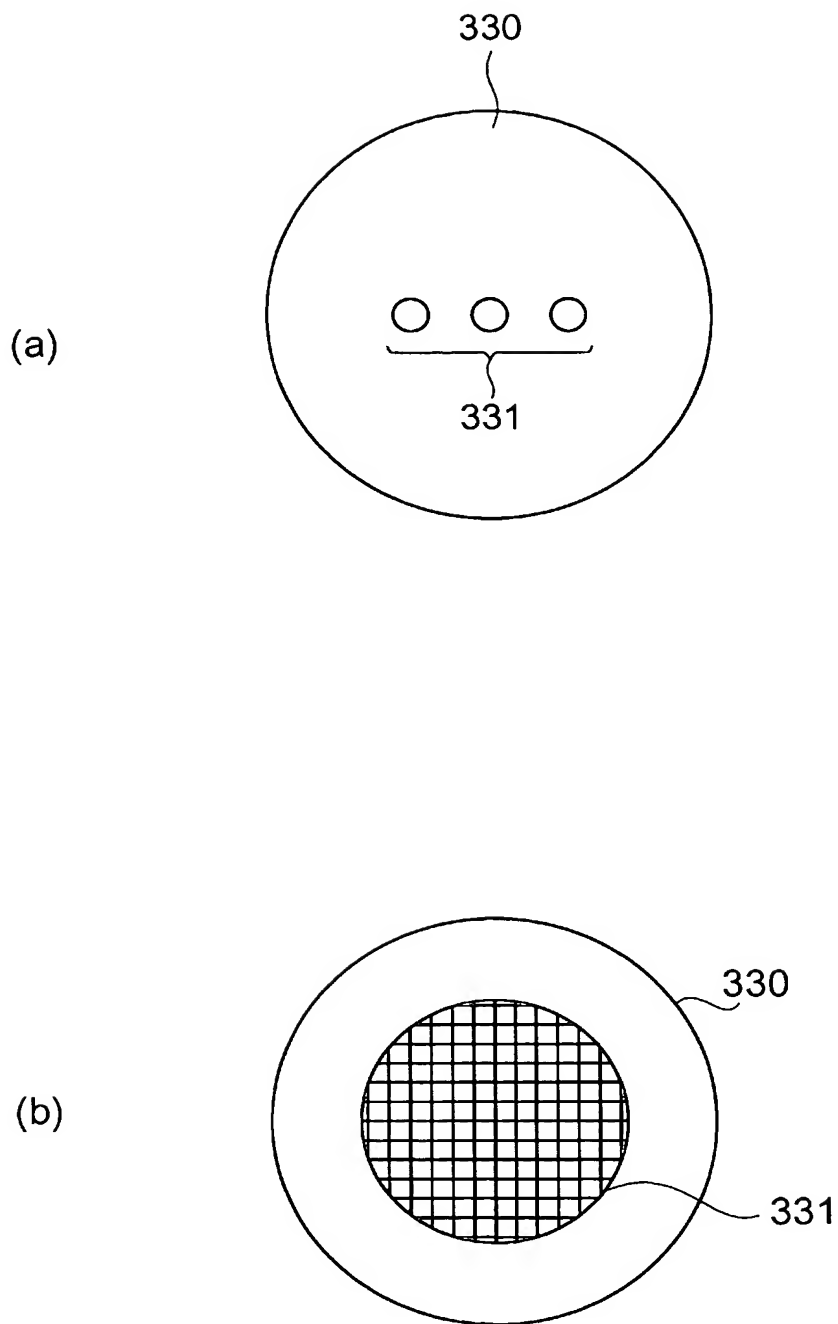
[図9]



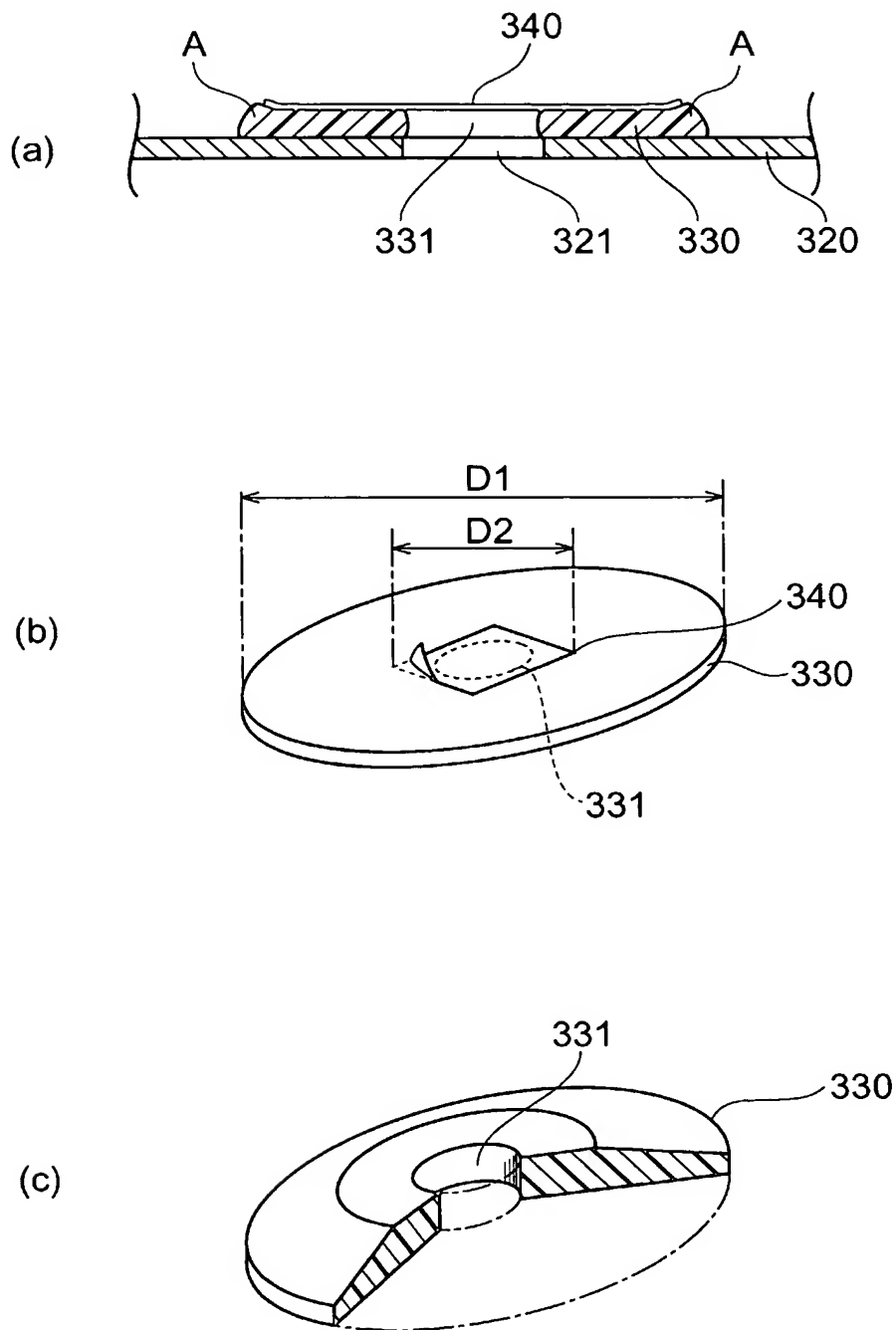
[図10]



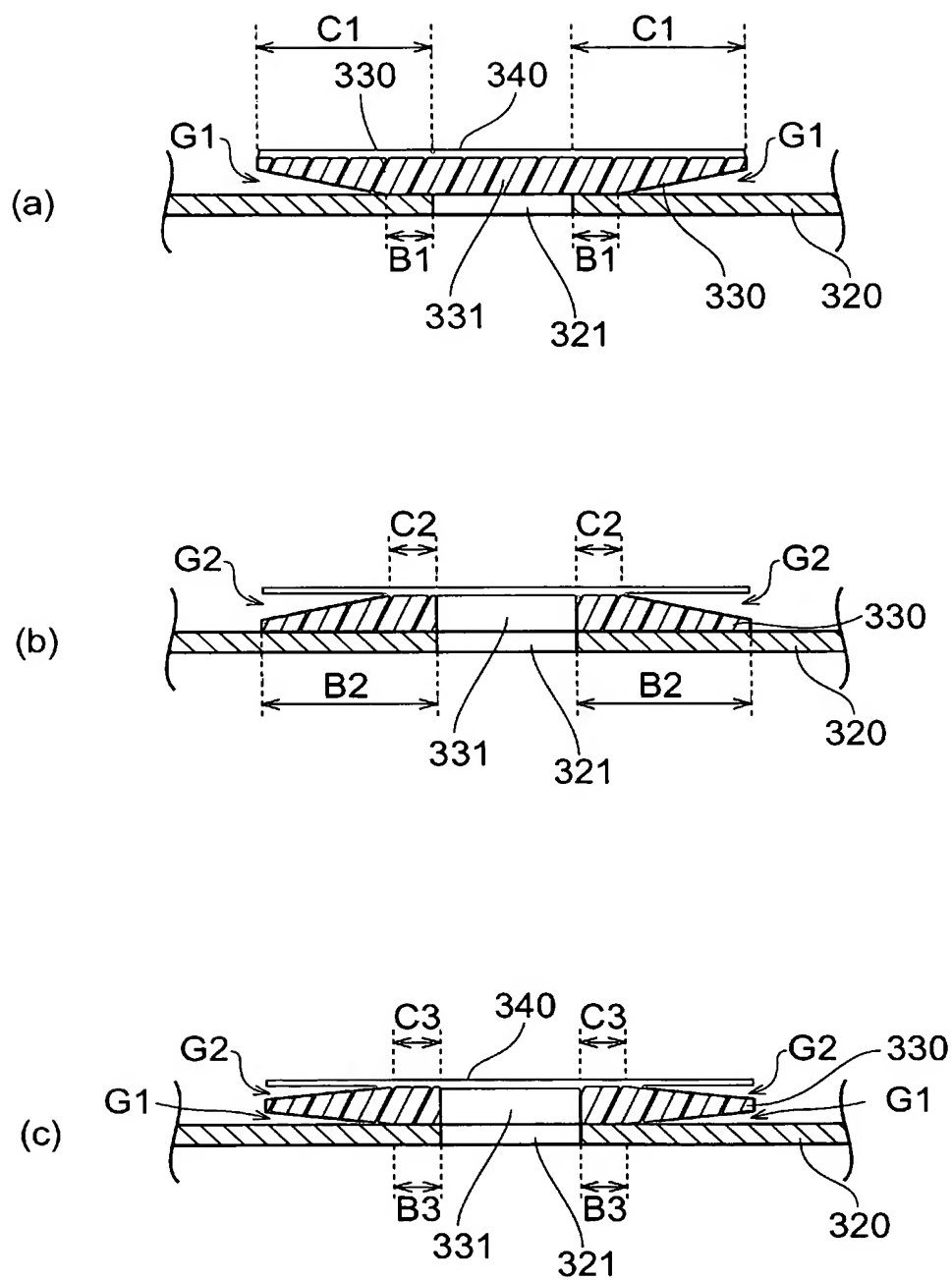
[図11]



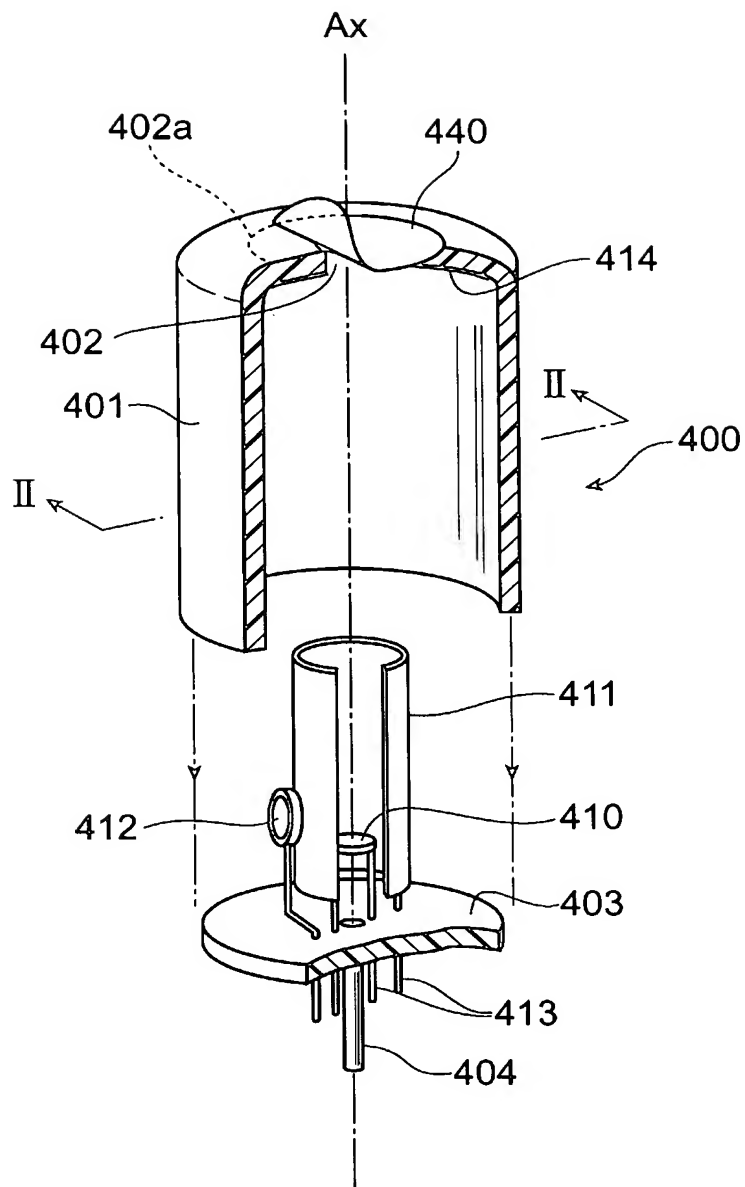
[図12]



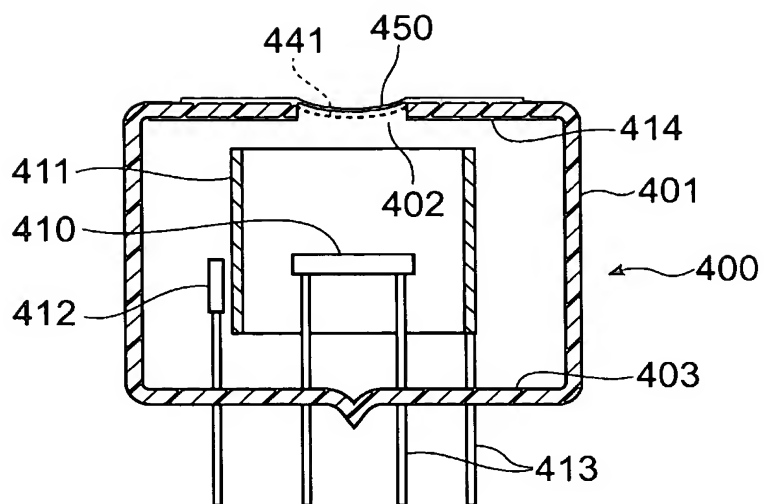
[図13]



[図14]

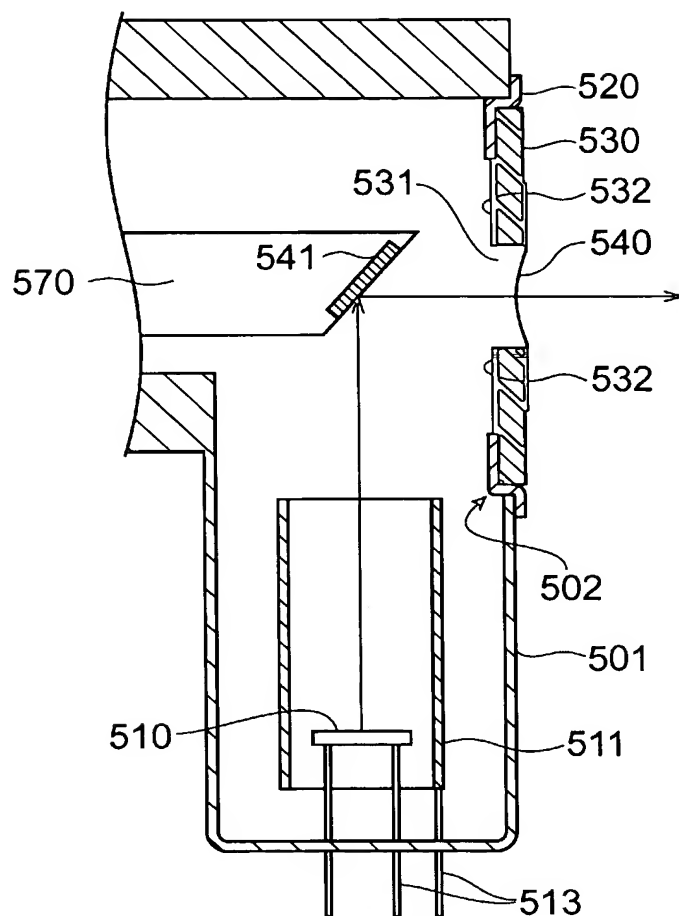


[図15]

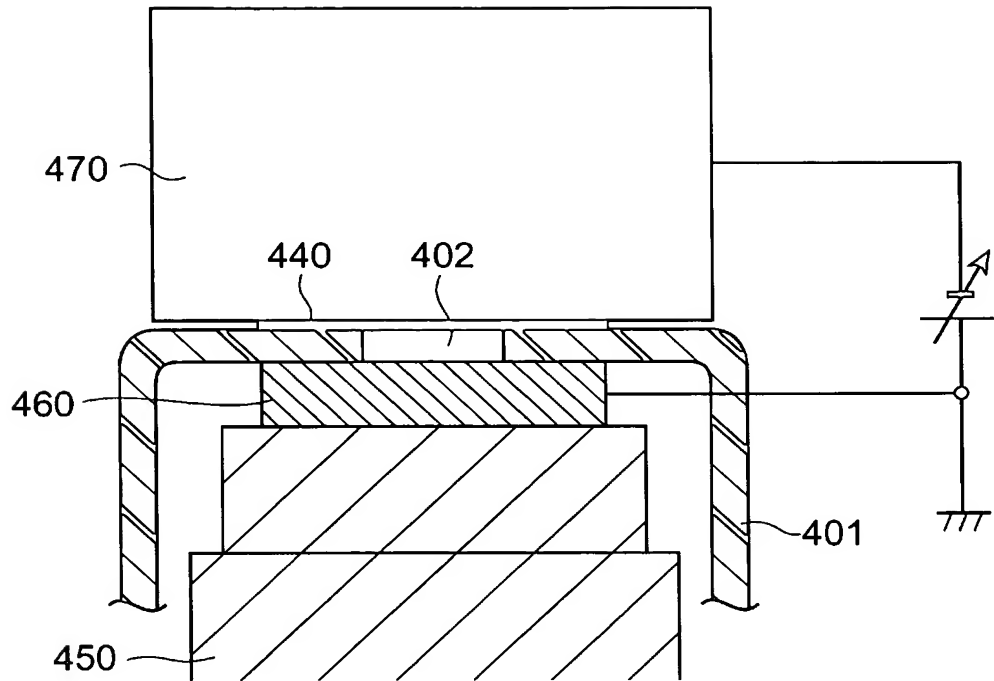




[図16]

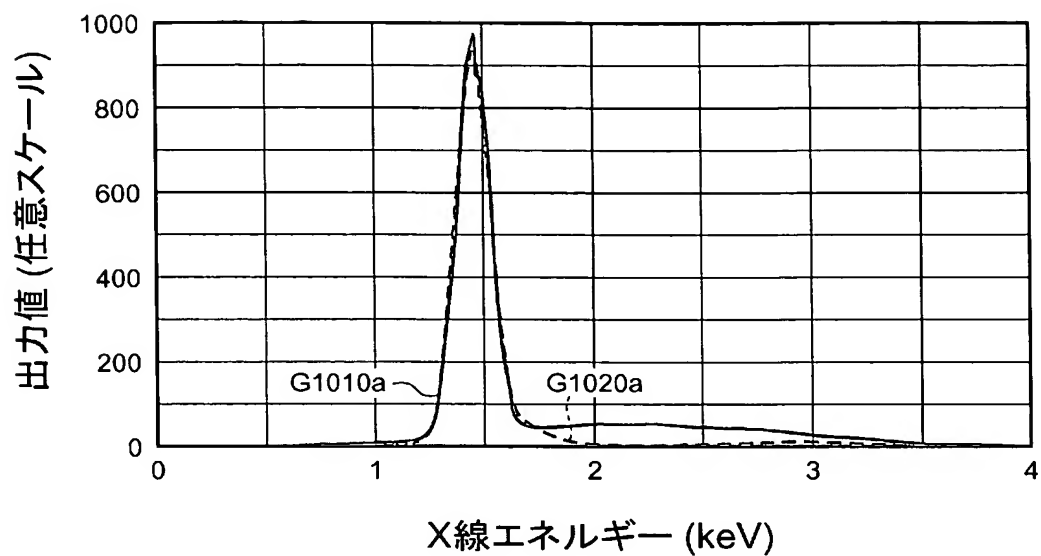


[図17]

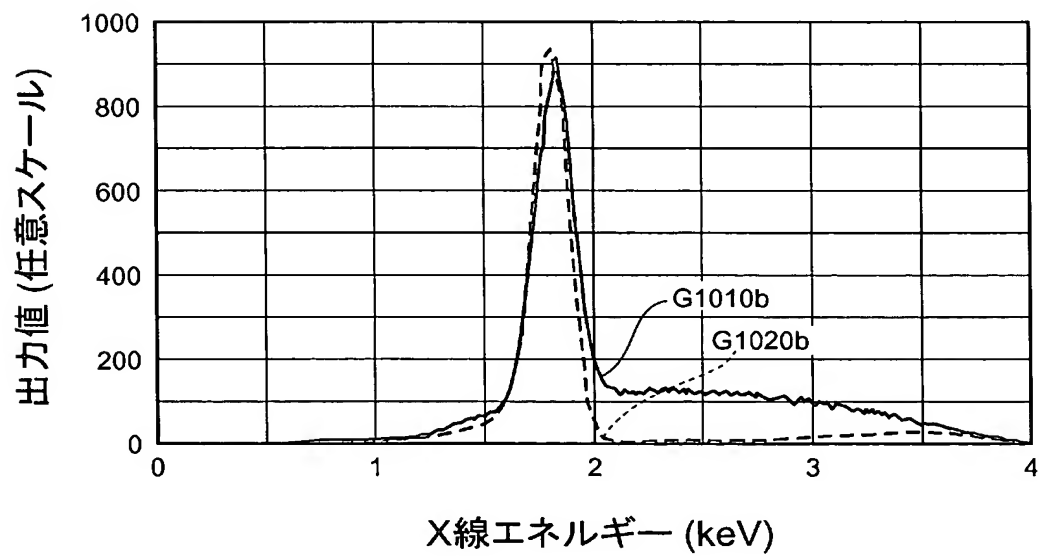


[図18]

(a)



(b)



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013446

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>7</sup> H01J35/18		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>7</sup> H01J35/00-35/32		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 7-45223 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 14 February, 1995 (14.02.95), Par. Nos. [0011] to [0013]; Fig. 1 (Family: none)	1, 6 2, 7-9
Y	JP 1-276550 A (NEC Corp.), 07 November, 1989 (07.11.89), Page 1, lower right column, lines 11 to 16 (Family: none)	2
Y	JP 9-180660 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 11 July, 1997 (11.07.97), Par. No. [0025] & US 6044130 A	7
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 14 December, 2004 (14.12.04)		Date of mailing of the international search report 18 January, 2005 (18.01.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013446

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 3-105300 A (Mitsubishi Electric Corp.), 02 May, 1991 (02.05.91), Page 2, upper right column, lines 16 to 18; lower left column, line 10 to lower right column, line 1; Figs. 1, 2 (Family: none)	8, 9
A	JP 7-294700 A (United Kingdom Atomic Energy Authority), 10 November, 1995 (10.11.95), Full text; all drawings & EP 676772 A1 & GB 2288272 A	1-9
A	JP 2000-306533 A (Toshiba Corp.), 02 November, 2000 (02.11.00), Full text; all drawings & US 6487272 B1	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>7</sup> H01J35/18

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>7</sup> H01J35/00-35/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 7-45223 A (浜松ホトニクス株式会社) 1995. 02. 14, 段落【0011】-【0013】, 図1 (ファミリー なし)	1, 6 2, 7-9
Y	JP 1-276550 A (日本電気株式会社) 1989. 1 1. 07, 第1頁右下欄第11-16行 (ファミリーなし)	2
Y	JP 9-180660 A (浜松ホトニクス株式会社) 199 7. 07. 11, 段落【0025】 & US 6044130 A	7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等而言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 12. 2004

国際調査報告の発送日

18. 1. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河原 英雄

2G

8506

電話番号 03-3581-1101 内線 3225

## C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 3-105300 A (三菱電機株式会社) 1991. 05. 02, 第2頁右上欄第16-18行, 第2頁左下欄第10行-同頁右下欄第1行, 図1, 図2 (ファミリーなし)	8, 9
A	J P 7-294700 A (ユナイテッド キングダム アトミック エナヂイ オーソリティー) 1995. 11. 10, 全文, 全図 & E P 676772 A1 & G B 2288272 A	1-9
A	J P 2000-306533 A (株式会社東芝) 2000. 1. 02, 全文, 全図 & U S 6487272 B1	1-9